

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 621.793

В. Н. КОВАЛЕВСКИЙ, д-р техн. наук,
К. Б. ФИГУРИН (БНТУ),
Б. Л. ФИГУРИН, канд. техн. наук (ФТИ НАНБ¹)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПЛАЗМЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА И ИХ АДАПТАЦИЯ К МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛИТЕЛЬНЫМ СИСТЕМАМ

Энергия тлеющего разряда используется в вакуумной технике в качестве метода высокотемпературной обработки поверхности, изменения структуры поверхностного слоя подложки для синтеза базового материала покрытия. Тлеющий разряд легко адаптируется в цикл вакуумной обработки материалов. Обработка в плазме тлеющего разряда имеет ограничения, обусловленные как физикой процесса, так и техническими возможностями современных технологических устройств.

Тлеющим разрядом принято называть самостоятельный разряд в газах с холодными электродами при токах 10^{-5} – 10^{-1} А и падением напряжения вблизи катода не менее 100 В.

Практическое применение нашел тлеющий разряд в диапазоне токов 10^{-4} – 10^{-1} А, вольт-амперная характеристика которого не зависит от тока. Энергетические процессы, связанные с тлеющим разрядом, происходят в катодных областях разряда и на катоде. При изменении положения катода в пространстве катодные области разряда не изменяют своей структуры. Влияние положительного столба и анодных областей разряда незначительно. Существование разряда обеспечивается электронами, эмитируемыми катодом при его бомбардировке положительными ионами, а также за счет фотоэффекта вследствие излучения атомов в разряде. При приближении анода к катоду сокращаются анодные зоны при сохранении размеров катодных.

Характерная структура нормального тлеющего разряда представлена на рис. 1. Темные пространства: 1 – Астоново; 3 – катодное (Круксово); 5 – Фарадеево; 7 – анодное; светящиеся зоны: 2 – катодный слой; 4 – отрицательное свечение; 6 – положительный столб; 8 – анодное свечение.

* Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси.

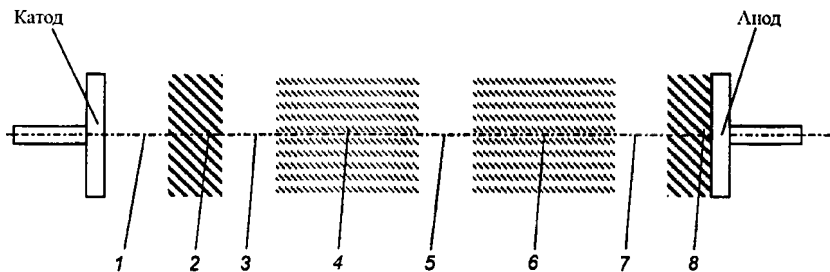


Рис. 1. Структура нормального тлеющего разряда

Явления, происходящие в плазме тлеющего разряда, можно рассматривать условно, разделив столб тлеющего разряда пополам на анодную и катодную части. Пограничное пространство занимают темное Фарадеево пространство и примыкающая к нему часть области отрицательного свечения. В этих участках формируются условия, отвечающие технологическим требованиям обработки тлеющим разрядом. Так, температура вторичных и медленных электронов снижается от единиц до десятых долей электрон-вольта. Высокая концентрация вторичных электронов ($10^7 - 10^{10} \text{ см}^{-3}$) сочетается с низкой напряженностью электрического поля, что исключает ионизацию газа в объеме разряда. Такое состояние газовой плазмы соответствует условиям предварительной, а на этапе раздельного синтеза – окончательной обработки подложек.

Активация подложек в тлеющем разряде [1] сводится к размещению подложек либо на аноде [2] при расстоянии его от катода 15 мм, либо на катоде ионизирующего устройства. Обработка производится в условиях остаточной атмосферы ($\sim 200 - 300 \text{ Па}$) при выпрямленном токе ($\sim 500 \text{ В}$, $I = 50 \text{ мА}$) и длительности процесса до 30 с. Эффект обработки снижает адгезионную прочность при превышении времени обработки больше 15 – 20 с. Площади обрабатываемых поверхностей подложек не могут превышать площадь катода из-за экранирования катода и нарушения условий существования устойчивого тлеющего разряда. Имеются трудности в обработке электронепроводящих материалов (стекло, керамика, пластмасса и т. д.) в связи с их электризацией при ионной бомбардировке, а также загрязнением подложек продуктами эрозии катода. На начальных этапах обработки преобладают процессы очистки и активации поверхности подложек. На последующих установившихся этапах катодного распыления развиваются процессы загрязнения подложек продуктами эрозии материала катода.

В данной работе обрабатываемая подложка размещена на значительном удалении от катода в области темного Фарадеева пространства. При этом активируемая поверхность подложки располагается параллельно катоду и обращена в сторону катода. Обрабатываемая поверхность подложки защищена от загрязняющего воздействия потока частиц, двигаю-

щихся от анода к катоду, тем, что обращена в сторону катода и влияние бомбардировки катода на напыляемую поверхность отсутствует. Поверхность защищена удалением подложки в темное Фарадеево пространство. Это позволяет увеличить продолжительность обработки подложек в тлеющем разряде без загрязнений, повысив эффективность активации поверхностей.

На рис. 2 показаны структура тлеющего разряда и координаты подложек перед напылением по предлагаемому варианту. В вакуумной камере, заполненной разреженной газовой средой, напыляемая поверхность подложки 1 обращена в сторону катода 2. Поверхность катода находится в одной плоскости с поверхностью анода, что позволяет использовать катод-мишень для создания тлеющего разряда. В качестве анода применяют стенки вакуумной камеры, что исключает необходимость автономных внутрикамерных устройств и устройств перемещения подложек из зоны предварительной обработки в плазме тлеющего разряда в зону напыления.

Чередование областей тлеющего разряда аналогично последовательности их расположения при параллельных электродах. При этом катодные и анодные области формируются вблизи одноименных электродов без изменения объемов. Значительной деформации подвергаются переходная область темного Фарадеева пространства и пограничные с ней светящиеся области. При этом область Фарадеева пространства занимает значительно больший объем, удобный для расположения подложек с площадью, соизмеримой с площадью катода. Подложки могут быть удалены от катода на расстояния, соответствующие оптимальным расстояниям при напылении.

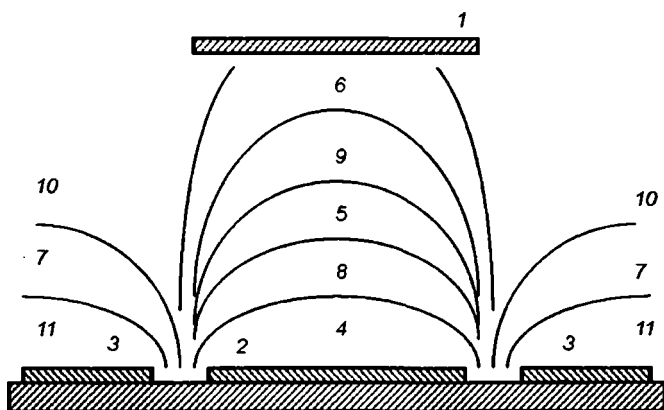


Рис. 2. Морфология плазмы тлеющего разряда:

1 – подложка; 2 – катод; 3 – анод; 4 – Астоново пространство; 5 – катодное пространство; 6 – Фарадеево пространство; 7 – анодное пространство; 8 – катодный слой; 9 – отрицательное свечение; 10 – положительный столб; 11 – анодное свечение

При встречном движении заряженных частиц (ионов и электронов) их траектории оказываются касательными к поверхности подложки и не заряжают ее при использовании токонепроводящих материалов. При варьировании положения подложек в Фарадеевом пространстве продолжительность обработки без опасности загрязнения значительно увеличивается при предварительной обработке и на этапе окончательной обработки при реализации синтеза покрытий в керамику.

Риск загрязнения подложки материалом катода исключается высоким давлением газа ($\sim 10 - 12$ Па), а следовательно, резким уменьшением длины свободного пробега распыленных атомов. В процессе обработки в плазме тлеющего разряда происходит «тренировка» (очистка) катода в результате катодного распыления атомами аргона. Конечным результатом предварительной обработки является подготовка к последующему напылению и катода, и обрабатываемой подложки.

Процесс получения покрытий с использованием эффекта тлеющего разряда осуществляется в такой последовательности. Подложки устанавливаются в подложкодержатель на расстоянии $70 - 200$ мм. Обрабатываемая поверхность обращена в сторону магнетрона. В процессе отработки контролируется давление, а при достижении $10 - 12$ Па подается анодное напряжение 1700 В с выключенной магнитной системой. Ток разряда в зависимости от рода материала катода контролируется в пределах $0,15 - 0,8$ А. Рабочим газом может быть остаточная атмосфера камеры либо смесь остаточной атмосферы и аргона в произвольной пропорции. Продолжительность обработки $1 - 5$ мин в зависимости от рода обрабатываемого материала (полимеры, стекло, металлы).

Сравнительные данные эффективности предварительной обработки в плазме тлеющего разряда приведены в табл. 1. Их анализ позволяет сделать вывод о целесообразности использования темного Фарадеева пространства тлеющего разряда для обработки поверхностей подложек перед напылением.

Исследование структуры тлеющего разряда, основных закономерностей проявления заряженных частиц в плазме, условий устойчивого существования и способов обработки подложки позволило значительно расширить рамки технологической применимости магнетронного распылительного устройства. В результате модернизации магнетрона стало возможным его использование в качестве устройства тлеющего разряда. Разработанное техническое решение адаптируется в технологический процесс раздельного синтеза как на предварительных, так и финишных этапах обработки. Размещение подложки в темном Фарадеевом пространстве, отличающемся низкими энергиями электронов и низким содержанием ионной компоненты газовой атмосферы, отвечает условиям бездефектного взаимодействия с материалом подложки, а на финишных операциях – с материалом покрытия.

Адгезионная прочность покрытий (МПа) с различными подложками при обработке в плазме тлеющего разряда

Обработка	Распыляемый материал		
	Ti	Ni	C
Стекло			
До обработки	0,04	0,03	0,02
После обработки	0,7	0,65	0,5
Стеклотекстолит			
До обработки	0,03	0,03	0,01
После обработки	0,5	0,5	0,3
Ситалл			
До обработки	0,03	0,03	0,02
После обработки	0,7	0,7	0,6

ЛИТЕРАТУРА

1. Коваленко В. В., Унит Г. П. Влияние способа подготовки поверхности стекла на адгезию к нему вакуумных конденсатов // Физика и химия обработки материалов. – 1983. – № 6. – С. 23 – 27.
2. Жаров В. А., Горелова О. Н. Влияние обработки поверхности полимера тлеющим разрядом и другими физическими методами на адгезию вакуумно-осажденных пленок металлов // Физика и химия обработки материалов. – 1983. – № 4. – С. 23 – 25.
3. А.с. СССР № 1632089. Устройство для получения металлических покрытий в вакууме / Б. Л. Фигурин, В. И. Руминский, К. Б. Фигурин и др. Оpubл. 1.11.1990.

УДК 621.792/793

Э. Д. ЩЕРБАКОВ, канд. техн. наук,
В. А. СМЕТКИН, канд. пед. наук,
В. Г. БОРИСОВ (БНТУ), О. К. МАХОВИКОВ,
В. П. ЛАПИН (ЗАО «Адиполь», г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И АЛИТИРОВАНИЯ ТЭНОВ С ОБОЛОЧКОЙ ИЗ СТАЛИ 08КП ВЗАМЕН СТАЛИ 12Х18Н10Т

В настоящее время для изготовления оболочек ТЭНов, работающих при температурах выше 450°C, используются дорогостоящие дефицитные стали аустенитного класса 12Х18Н10Т и т. п., обладающие достаточно высокой окислительной стойкостью при температурах до 700 – 750°C. Температура начала интенсивного окисления стали 12Х18Н10Т – 850°C. Замена хромоникелевой жаростойкой стали на углеродистую при рабочей температуре на поверхности оболочек до 700 – 750°C возможна при создании защитного слоя алюминидов железа.